

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Jamur Benang dan Morfologinya secara Umum

Fungi berdasarkan penampakkannya dikelompokkan ke dalam jamur benang dengan nama lain kapang (*moulds* atau *molds*), khamir (*yeasts*) dan cendawan (*mushrooms*) (Gandjar dkk., 2006b). Adapun menurut analisis molekuler, jamur benang atau kapang dan khamir adalah organisme yang secara filogenetik bersifat *diverse*. Artinya, baik jamur benang dan khamir terdapat dalam kelompok besar dari Ascomycetes dan Basidiomycetes, sedangkan cendawan yang diartikan dari *mushrooms* atau *edible mushrooms* umumnya termasuk dalam kelompok Homobasidiomycetes yang monofiletik (Gandjar dkk., 2006b).

Bagian yang cukup penting dari sel jamur benang adalah hifa. Kumpulan hifa membentuk struktur yang bernama miselium dan bisa dilihat mata telanjang. Bentuknya yang seperti kumpulan benang-benang membuat jamur benang memiliki sebutan lain yaitu jamur benang. Hifa memiliki fungsi untuk menyerap nutrisi dari lingkungan serta membentuk struktur untuk reproduksi. Hifa adalah suatu struktur fungus berbentuk tabung menyerupai seuntai benang panjang yang terbentuk dari pertumbuhan spora atau konidium (Gandjar dkk., 2006b).

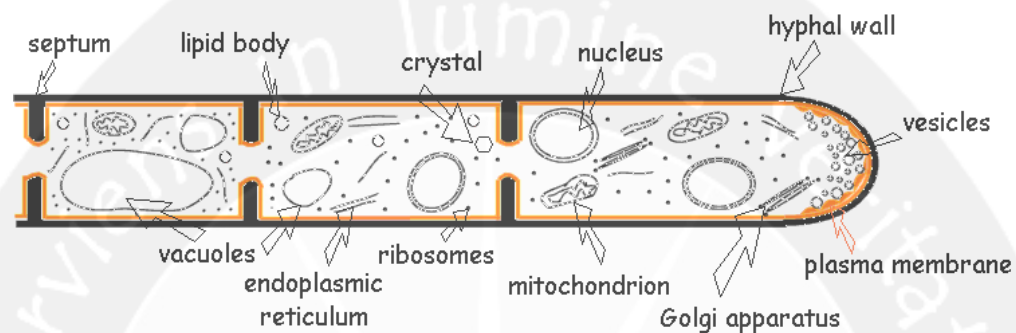
Bagian yang mencolok dari jamur benang adalah miselium yang terbentuk dari kumpulan hifa yang bercabang-cabang membentuk suatu jala. Hifa berisi protoplasma yang dikelilingi oleh suatu dinding yang kuat. Pertumbuhan hifa berlangsung terus-menerus di bagian apikal, sehingga panjangnya tidak dapat ditentukan secara pasti. Diameter hifa umumnya tetap, yaitu berkisar 3-30 μm .

Jenis yang berbeda memiliki diameter yang berbeda pula, dan ukuran diameter tersebut dapat juga dipengaruhi oleh keadaan lingkungan (Carlile dan Watkinson, 1994).

Hifa yang tua mempunyai ketebalan antara 100-150 μm , sedangkan tebalnya pada bagian apeks kurang lebih 50 μm . Hifa ada yang memiliki septa atau dapat juga didefinisikan memiliki struktur bersekat (Gandjar dkk., 2006b). Hifa yang tua mempunyai tambahan bahan pada dinding sel-nya, yaitu senyawa melanin dan lemak (Gandjar dkk., 2006b). Sel-sel hifa yang tua bertugas untuk mengalirkan nutrisi ke sel-sel tunas (apikal) untuk pertumbuhan hifa seterusnya. Sel-sel apikal ukurannya lebih besar dibandingkan sel-sel hifa lainnya. Pembentukan cabang pada hifa dapat terbentuk sepanjang hifa. Cabang hifa tersebut akan menjauhi hifa induk atau hifa pertama agar nutrisi di lingkungan dapat terjangkau sejauh mungkin. Sehingga hifa bentuknya semakin besar dan semakin luas.

Struktur sel jamur benang memiliki kesamaan dengan tumbuhan yaitu dengan adanya dinding sel. Dinding sel jamur benang sangat kokoh dan resisten terhadap serangan enzim, suatu hal yang menguntungkan bagi jamur benang karena hifa-hifa harus menembus tanah dan aneka substrat lainnya. Dinding spora jamur benang kurang lebih tujuh kali lebih tebal daripada dinding hifa (Moore-Landecker, 1996). Di bawah dinding yang kuat terdapat lapisan yang melindungi isi sel, yaitu membran sel. Komposisi kimia membran sel jamur benang diduga terdiri dari senyawa-senyawa sterol, protein (berupa molekul-molekul yang *amorf*), serta senyawa-senyawa fosfolipid. Komponen isi sel jamur benang sama

dengan organisme ekaryotik pada umumnya yaitu nukleus, mitokondria, retikulum endoplasma, ribosom, apparatus Golgi, mikrobodi (peroksisom, glioksisom, hidrogenesom, lisosom dan liposom). Struktur organel dalam sel hifa dapat dilihat pada diagram skematik yang terdapat di Gambar 3, di bawah ini.



Gambar 3. Diagram Skematik Sel Hifa
(Sumber: Tariq, 2013)

Ribosom terdapat bebas dalam sitoplasma, tetapi ada juga yang terikat pada permukaan retikulum endoplasma atau pada membran nukleus dan terdapat dalam matriks mitokondria. Fungsinya adalah untuk tempat sintesis polipeptida. Aparatus Golgi memiliki banyak peran yaitu memroses dan menyekresi glikoprotein yang akan menjadi bagian dari dinding sel, bahan-bahan ekstraselular seperti membran pembungkus sel (*cell coat*) pada pembelahan spora dari suatu sitoplasma yang multinukleat, dan menghasilkan vesikel yang berperan dalam pertumbuhan dinding sel (Ruiz-Herrera, 1992).

Vesikel merupakan struktur yang menyerupai kantung, berada dalam jumlah besar di lokasi pertumbuhan dinding sel, terutama pada hifa apikal. Vesikel ini berisi enzim-enzim yang dibutuhkan oleh sel, ada juga yang dapat mengikat zat warna dan fungisida yang bersifat racun bagi sel sendiri. Vesikel juga merupakan suatu struktur berbentuk lonjong atau bulat,

mengandung cairan lemak, yang berfungsi sebagai organ penyimpanan makanan atau berkembang menjadi klamidospora, yang merupakan sel dorman sebagai bentuk pertahanan diri fungi di lingkungan yang kurang menguntungkan (Gandjar dkk., 2006b). Vesikel selain dibentuk secara interseluler ada juga yang secara intraseluler. Pembentukan vesikel diawali dengan adanya perkembangan sitoplasma hifa yang menjadi lebih padat, multinukleat yang mengandung partikel lemak dan glikogen. Sitoplasma menjadi semakin padat melalui proses kondensasi dan organel semakin sulit untuk dibedakan sejalan dengan akumulasi lemak selama maturasi (proses pendewasaan) (Ruiz-Herrera, 1992).

Mikrobodi memiliki struktur yang serupa dengan kantung seperti vesikel juga tetapi penamaanya mengikuti isinya. Peroxisom merupakan mikrobodi yang mengandung katalase. Hidrogenosom mengandung hidrogenase untuk reaksi-reaksi anaerob dalam sel. Glioksisom mengandung enzim-enzim yang terlibat dalam oksidasi asam lemak dan dalam daur glio-oksalat (Moore-Landecker, 1996).

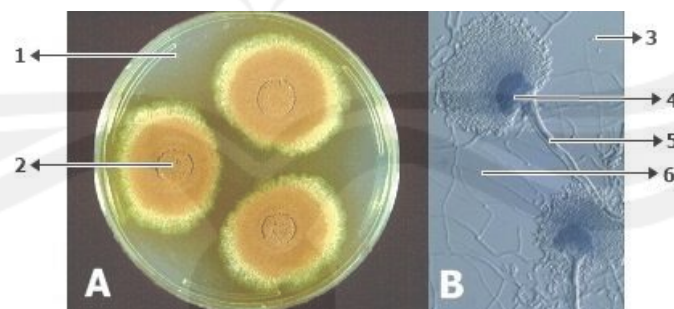
B. Pengenalan Jamur Benang *Aspergillus terreus*

Aspergillus merupakan fungi dari filum Ascomycota (Moore dkk., 2011). Ciri morfologisnya sama seperti sebagian besar jenis dalam filum ini yaitu berfilamen, hifa bersekat atau memiliki septa, dan dapat ditemukan melimpah di alam (Moore dkk., 2011). *Aspergillus* dapat tumbuh optimum pada suhu 35-37°C, dengan suhu minimum 6-8 °C, dan suhu maksimum 45-47°C. Selain itu, dalam proses pertumbuhannya fungi ini memerlukan oksigen yang cukup

(Madigan dan Martinko, 2006). *Aspergillus* dalam pertumbuhannya berhubungan langsung dengan zat makanan yang terdapat dalam substrat, molekul sederhana yang terdapat disekeliling hifa dapat langsung diserap sedangkan molekul yang lebih kompleks harus dipecah dahulu sebelum diserap ke dalam sel, dengan menghasilkan beberapa enzim ekstraseluler seperti protease, amilase, mananase, dan α -glaktosidase (Madigan dan Martinko, 2006). Bahan organik dari substrat digunakan oleh *Aspergillus* untuk aktivitas transport molekul, pemeliharaan struktur sel, dan mobilitas sel (Madigan dan Martinko, 2006; Samson dkk., 2001).

Klasifikasi *Aspergillus terreus* menurut Thom dan Church (1918):

Kerajaan	:	Fungi
Filum	:	Ascomycota
Kelas	:	Eurotiomycetes
Bangsa	:	Eurotiales
Suku	:	Trichocomaceae
Marga	:	<i>Aspergillus</i>
Jenis	:	<i>Aspergillus terreus</i> Thom.



Gambar 4. *Aspergillus terreus*

Keterangan: A=Koloni *A. terreus* yang pada Medium PDA cawan, B=Morfologi Mikroskopis *A. terreus*; 1. Medium PDA cawan, 2. Satu koloni *A. terreus*, 3. Konidium, 4. Kepala konidium, 5. Konidiofora, 6. Hifa.

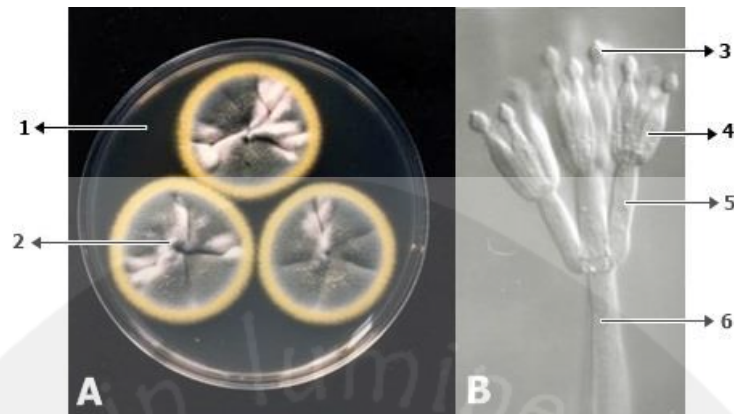
(Sumber: Sutton, 2005)

Koloni *Aspergillus terreus* pada medium “*Potato Dextrose Agar*” dalam suhu 25°C berwarna coklat muda sampai coklat tua (de Hoog dkk., 2000). Tampak juga adanya pigmen yang berwarna kuning menghasilkan semburat

kuning di permukaan atas koloni. Koloni berbentuk granular sempurna dengan produksi konidium (de Hoog dkk., 2000). Diameter koloni *Aspergillus terreus* pada medium Czapek's Dox mencapai diameter 3,5-5,0 cm dalam waktu 7 hari, dan terdiri dari suatu lapisan padat yang terbentuk oleh konidiofora (Gandjar dkk, 2006b). Konidiofora berwarna hialin dan berdinding tipis dengan panjang 70-300 μm (de Hoog dkk., 2000). Kepala konidium memiliki warna coklat kekuningan, tampak kompak, berbentuk kolumnar, dan berukuran (150-500) x (30-50) μm (Gandjar dkk, 2006b). Bentuk vesikula semibulat berdiameter 10-20 μm . Konidium berbentuk bulat hingga elips, berdiameter 2-2,5 μm , berwarna hialin hingga kuning muda, dan berdinding tipis (de Hoog dkk., 2000). Habitat jamur benang umumnya di permukaan tanah, banyak ditemukan di daerah tropis, diisolasi dari rempah-rempah, rhizosfer gandum, jagung, padi, kentang, kapas, tanaman euphorbia, papaya, nanas, pisang, kacang tanah, biji-bijian yang disimpan di gudang dalam waktu yang lama, coklat, tekstil, kulit, sarang burung, pulp dari pabrik kertas, lumbung, hingga tambang uranium (Gandjar dkk, 2006b).

C. Pengenalan Jamur Benang *Penicillium pinophilum*

Penicillium juga merupakan anggota dari filum Ascomycota (Moore dkk., 2011). Ciri-ciri spesifik *Penicillium* adalah hifa memiliki septa atau sekat, miselium bercabang, dan biasanya tidak berwarna. Konidiofora juga bersekat dan muncul di atas permukaan yang berasal dari hifa di bawah permukaan, hifa bercabang atau tidak bercabang. Kepala hifa yang membawa spora berbentuk seperti sapu dengan sterigmata muncul dalam kelompok (Fardiaz, 1992).



Gambar 5. *Penicillium pinophilum*

Keterangan: A=Koloni *P.pinophilum* yang pada Medium PDA cawan, B=Morfologi Mikroskopis *P.pinophilum*; 1. Medium PDA cawan, 2. Satu koloni *P.pinophilum*, 3. Konidium, 4. *Phialides*, 5. *Metulae*, 6. Konidiofora. (Sumber: Tzean dkk., 1994)

Penicillium pinophilum, jenis Ascomycota lainnya, yang digunakan dalam penelitian diketahui dapat menghasilkan senyawa prekursor untuk produksi statin (Moore dkk., 2011). Statin dikenal sebagai *wonder drug* karena jutaan pasien yang bermasalah dengan kadar kolesterol darahnya yang berlebihan, bergantung pada obat ini. Klasifikasi jamur benang ini menurut Thom (1910) adalah sebagai berikut:

Kerajaan	:	Fungi
Filum	:	Ascomycota
Kelas	:	Eurotiomycetes
Bangsa	:	Eurotiales
Suku	:	Trichocomaceae
Marga	:	<i>Penicillium</i>
Jenis	:	<i>Penicillium pinophilum</i> sinonim <i>Talaromyces pinophilus</i> Hedgc. (Hedgcock dkk., 2011)

Menurut Tomoda dkk. (2011) *Penicillium pinophilum* memiliki hifa yang tidak berwarna dan memiliki septa (bersekat). Konidiofora berdimensi 50-180 x 1,0-2,5 μm terbentuk di bagian atas hifa aerial tanpa cabang. Pada bagian ujung konidiofora, *penicilli* terbentuk. *Penicilli* adalah konidiofora dari genus

Penicillium yang berbentuk menyerupai sapu. *Phialides*, suatu sel *conidiogenous* khusus yang menghasilkan konidium berbentuk silindris dengan dimensi 7,5-12,5 x 2,0-2,5 μm . *Phialoconidium* (sejenis konidium) terbentuk dari ujung *phialides* dan menjadi terhubung seiring dengan waktu inkubasi. Konidiospora berbentuk bundar atau elips, berwarna hijau gelap, berdimensi 2,3-2,8 x 2,3-2,8 μm dan memiliki permukaan halus (Tomoda, dkk., 2011).

D. Pengertian Lemak dan Asam Lemak

Lemak merupakan senyawa organik yang sukar larut dalam air namun mudah larut dalam pelarut organik seperti eter, benzene, atau kloroform (Montgomery dkk., 1993b), sedangkan asam lemak adalah salah satu bentuk lemak, rumus kimiawinya dinyatakan dengan gugus fungsi R-COOH , dengan R adalah rantai alkil yang tersusun dari atom-atom karbon dan hidrogen. Asam lemak dapat diklasifikasikan berdasarkan panjang rantai, yaitu jumlah atom karbon yang dikandung (Montgomery dkk., 1993b). Asam lemak tergolong rantai pendek jika mengandung 2-4 atom karbon. Rantai sedang terdiri dari 6-10 atom karbon. Rantai panjang terdiri dari 12-26 atom karbon (Montgomery dkk., 1993b). Asam lemak dapat dikategorikan jenuh atau tak-jenuh. Asam lemak jenuh berarti tidak memiliki ikatan rangkap dalam rantai alkilnya. Asam lemak tak-jenuh berarti memiliki ikatan rangkap satu atau lebih. Penamaannya yang mempunyai satu ikatan tak-jenuh disebut asam lemak monoenoat atau tak-jenuh tunggal. Sementara itu, yang mengandung dua atau lebih ikatan tak-jenuh tunggal disebut polienoat (Montgomery dkk., 1993b).

Mamalia dan tumbuhan mempunyai asam lemak monoenoat dan polienoat, sedangkan pada bakteri adalah monoenoat. Lemak tumbuhan dan lemak ikan mengandung lebih banyak asam lemak polienoat daripada lemak binatang (Montgomery dkk., 1993b). Beberapa komposisi asam lemak dari berbagai sumber dapat dilihat di Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Asam Lemak dari Berbagai Sumber

Asam lemak	Struktur	Komposisi (%)							
		Gemuk	Mentega	Minyak babi	Minyak kelapa	Minyak zaitun	Minyak biji kapas	Minyak jagung	Minyak kedelai
Laurat	12:0		3		54				
Miristat	14:0	3	11	2	18				
Palmitat	16:0	26	31	25	8	11	20	10	10
Palmitoleat	16:1n-7	3	3	3					
Stearat	18:0	25	14	15	2	2	2	2	4
Oleat	18:1n-9	36	30	45	5	76	18	31	24
Linoleat	18:2n-6	2	2	9	1	7	60	56	54
Lain-lain		5	6	1	12	1		1	8

Apabila tidak ada numerik dituliskan, jumlahnya <0,5% asam lemak total

Sumber: Montgomery dkk., 1993b.

E. Lipogenesis oleh Jamur Benang

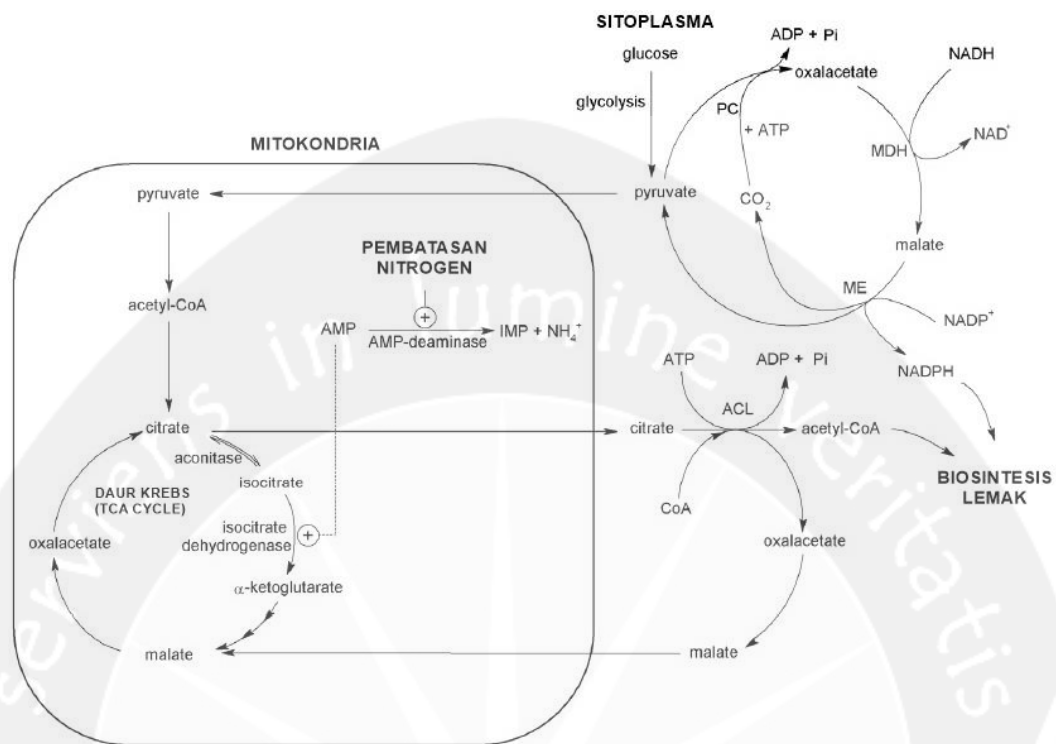
Lipogenesis adalah proses yang mengubah gula atau glukosa menjadi asam lemak, yang kemudian teresterifikasi dengan gliserol untuk membentuk triasilgliserol (TGA) (Kersten, 2001). Sintesis terjadi di sitoplasma berbeda dengan degradasi (oksidasi) yang terjadi dalam mitokondria. TGA adalah lemak simpanan utama dalam tumbuhan ataupun hewan. TGA memiliki sebuah rangka gliserol tempat 3 asam lemak diesterkan (Marks dkk., 1996).

Akumulasi lemak dalam jamur benang oleaginous telah terbukti terjadi ketika nutrisi dalam medium (misalnya nitrogen atau sumber fosfor) menjadi terbatas dan sumber karbon berlebih (Rossi dkk., 2011). Selama fase pertumbuhan, nitrogen diperlukan untuk sintesis protein dan asam nukleat,

sedangkan karbon didistribusikan melalui proses anabolik untuk menghasilkan karbohidrat, lipid, asam nukleat dan protein (Rossi dkk., 2011). Ketika nitrogen terbatas, tingkat pertumbuhan akan melambat, sintesis protein, dan asam nukleat cenderung berhenti. Dalam jenis *non-oleaginous*, kelebihan karbon yang tidak digunakan akan diubah menjadi polisakarida untuk disimpan. Berbeda halnya dengan jenis *oleaginous*, seperti jamur benang dalam penelitian ini. Kelebihan karbon disalurkan menuju sintesis lipid, yang mengarah ke akumulasi Triasilgliserol (TAG) intraseluler (Ratledge dan Wynn, 2002).

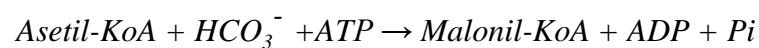
Jalur biokimia dalam sintesis lemak pada jamur benang tidak berbeda dari organisme *oleaginous* dan *non-oleaginous* atau bahkan dengan organisme ekaryotik lainnya. Kemampuan untuk menghasilkan lemak dalam jumlah banyak sebenarnya tergantung dari regulasi jalur biosintesis serta pasokan dari prekursor yang berperan antara lain Asetil-KoA, Malonil-KoA, dan gliserol-3-fosfat, dibutuhkan pula kofaktor yaitu NADPH (Rossi, dkk. 2011). Asetil-KoA terutama merupakan senyawa-antara primer untuk biosintesis asam-asam lemak rantai panjang (Montgomery dkk., 1993a).

Biosintesis asam lemak membutuhkan pasokan Asetil-KoA yang konstan sebagai unit awal biosintesis dan Malonil-KoA sebagai unit “*elongasi*” yang menyumbang 2 karbon pada setiap tahap (Rossi, dkk. 2011). Organisme *non-oleaginous* umumnya mendapat suplai Asetil-KoA dari glikolisis. Organisme *oleaginous*, sebagian besar Asetil-KoA diperoleh dari hasil pemisahan daur asam sitrat pada sitoplasma akibat adanya pembatasan sumber nitrogen (Ratledge dan Wynn, 2002).



Gambar 6. Biosintesis Lemak pada Kondisi Pembatasan Nitrogen
(Sumber: Rossi dkk., 2011)

Gambar 6 yang diadaptasi dari Rossi, dkk. (2011) menjelaskan adanya pembatasan nitrogen dapat mengaktifasi *AMP-deaminase*. Kadar AMP mitokondria menurun mengakibatkan turunnya aktivitas *isocitrate dehydrogenase*. Daur Krebs (*TCA cycle*) pun terhenti pada tingkat isositrat. Hasilnya adalah akumulasi dari isositrat yang harus diseimbangkan dengan kadar sitrat oleh *aconitase*. Kelebihan sitrat dari Daur TCA dikeluarkan dari mitokondria melalui *antiport* malat-sitrat. Enzim *ATP-citrate lyase* (*ACL*) menyumbangkan sitrat untuk oksaloasetat dan Asetil-KoA. Malonil-KoA diproduksi dari Asetil-KoA oleh *acetyl-CoA carboxylase* (*ACC*) melalui reaksi (Rossi, dkk. 2011):

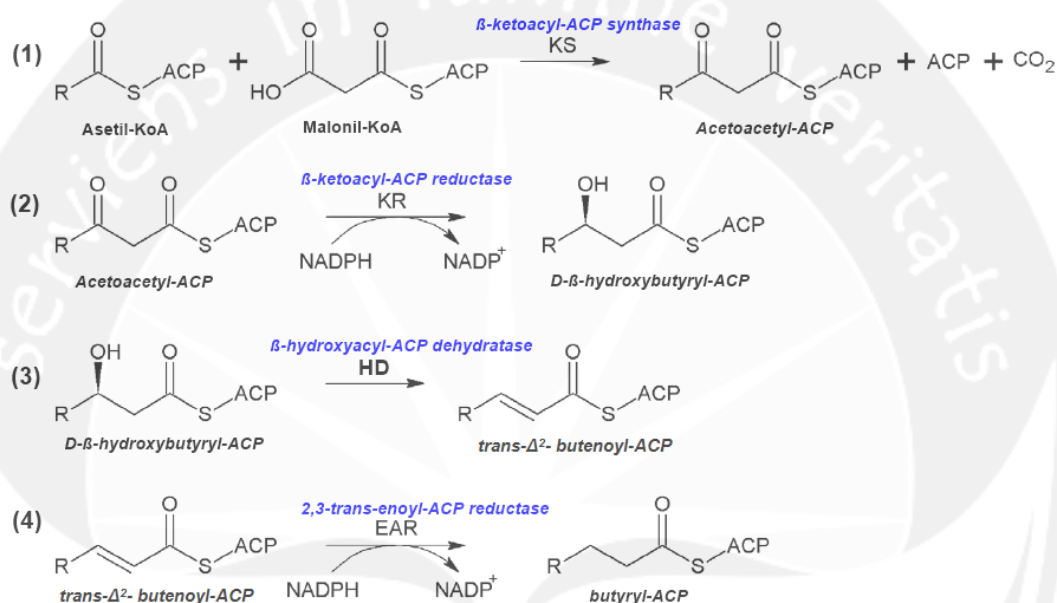


Sintesis asam lemak terjadi dalam sitoplasma jamur benang melalui kompleks enzim *fatty acids synthetase* (FAS) (Granger dkk., 1993). FAS mengaktivasi *acyl carrier protein* (ACP) dari phosphopantetheine transferase dengan menyediakan pantothenate. FAS adalah multimer dari subunit 6α dan 6β yang dikode oleh gen *fas2* dan *fas1* (Tehlivets dkk., 2007). Setiap subunit terdiri dari 4 domain fungsional. Oleh karena itu, 6α dan 6β adalah sebuah kompleks 2.6 MDa dengan 48 sisi fungsional yang mengkatalis semua reaksi yang dibutuhkan untuk pembentukan asam lemak melalui beberapa daur tahapan reaksi (Tehlivets dkk., 2007).

Proses pembentukan asam lemak diawali dengan persiapan Asetil-KoA dan Malonil-KoA. FAS mentransfer Asetil-KoA pada β -ketoacyl-ACP synthase (KS), dengan katalis berupa *acetyl-CoA-ACP transacetylase* (AT). Malonil-KoA ditransfer pada gugus ser-SH *acyl carrier protein* (ACP) melalui ikatan kovalen tioester dan dikatalisis oleh *malonyl-CoA-ACP transferase* (MT). *Acyl carrier protein* (ACP) adalah molekul protein kecil yang memiliki gugus prostetik 4'-phosphopantetheine dan terdapat gugus tiol (SH) pada ujungnya. Gugus prostetik 4'-phosphopantetheine pada ACP memiliki lengan yang lentur sehingga memudahkan asam lemak antara berinteraksi dengan gugus asil ketika terjadi perpanjangan rantai asam lemak (Rossi, dkk. 2011).

Tahapan pertama reaksi (Gambar 7 bagian 1), gugus malonil dan gugus asil yang teraktivasi melakukan reaksi kondensasi menghasilkan satu molekul CO_2 dan *acetoacetyl-ACP* (Rossi, dkk. 2011). Reaksi kondensasi ini dikatalisis oleh β -ketoacyl-ACP synthase (KS). *Acetoacetyl-ACP* yang terbentuk pada tahap

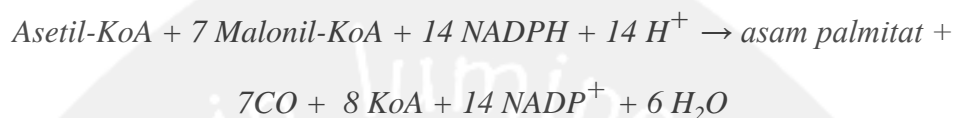
kondensasi kemudian mengalami reaksi reduksi gugus karbonil pada karbon C-3 membentuk *D*- β -hydroxybutyryl-ACP (Gambar 7 bagian 2). Reaksi ini dikatalis oleh β -ketoacyl-ACP reductase (KR), dan yang berperan sebagai donor elektron adalah NADPH (Rossi, dkk. 2011).



Gambar 7. Tahapan Reaksi Sintesis Asam Lemak
(Sumber: Rossi, dkk.2011)

Tahap selanjutnya adalah reaksi dehidrasi (Gambar 7 bagian 3). Pada tahap ini satu molekul air dilepaskan dari karbon C-2 dan C-3 *D*- β -hydroxybutyryl-ACP membentuk ikatan ganda pada produknya *trans*- Δ^2 -butenoyl-ACP (Rossi, dkk. 2011). Enzim yang mengkatalis reaksi dehidrasi adalah β -hydroxyacyl-ACP dehydratase (HD). Tahap terakhir biosintesis asam lemak adalah reaksi reduksi ikatan ganda *trans*- Δ^2 -butenoyl-ACP membentuk butyryl-ACP (Gambar 7 bagian 4) (Rossi, dkk. 2011). Reaksi reduksi ini dikatalisis oleh enzim enoyl-ACP reductase (EAR). NADPH berperan sebagai donor elektron pada reaksi reduksi ini. Tahapan reaksi ini diulang

sebanyak tujuh kali untuk memproduksi *palmitoyl-ACP* (asam palmitat) (Rossi, dkk. 2011). Jadi, apabila dirumuskan keseluruhan biosintesis asam lemak dari Asetil-KoA membentuk asam palmitat adalah sebagai berikut (Rossi, dkk. 2011):



Produk akhir dari FAS umumnya adalah asam lemak miristat atau palmitat. Namun, pada beberapa jenis organisme oleaginous dapat dihasilkan senyawa asam lemak turunan melalui proses elongasi atau desaturasi yang terjadi di retikulum endoplasma (Rossi, dkk. 2011). Reaksi elongasi tersebut dikatalis oleh enzim-enzim elongase seperti *malonyl-palmitoil transacylase*, diorganisasi oleh sebuah kompleks yang membutuhkan Malonil-KoA (Rossi, dkk. 2011).

Akumulasi lemak oleh jamur benang terjadi ketika kondisi nutrisi medium dibatasi sumber nitrogen atau fosfornya sementara sumber karbon lebih besar proporsinya (Rossi, dkk. 2011). Akan tetapi, hasil akumulasi lemak lebih banyak jika pembatasan dilakukan terhadap sumber nitrogen. Hal ini berarti pembatasan nitrogen menginduksi terjadinya lipogenesis yang lebih efektif. Ketika nitrogen yang terbatas dalam medium mulai berkurang, laju pertumbuhan jamur benang menurun karena aktivitas sintesis protein dan asam nukleat terhambat. Sementara nitrogen sudah menipis, sumber karbon dalam medium masih banyak tersisa. Menurut Rossi, dkk. (2011), pada jenis *non-oleaginous*, karbon yang berlebih dari medium tersebut tidak digunakan sama sekali atau disimpan saja dalam bentuk kompleksnya, yaitu polisakarida. Berbeda dengan jenis *oleaginous*, kondisi tersebut membuka jalur sintesis lemak yang berujung

pada akumulasi lemak dalam bentuk asam lemak yang terdiri dari triasilgliserol intraseluler.

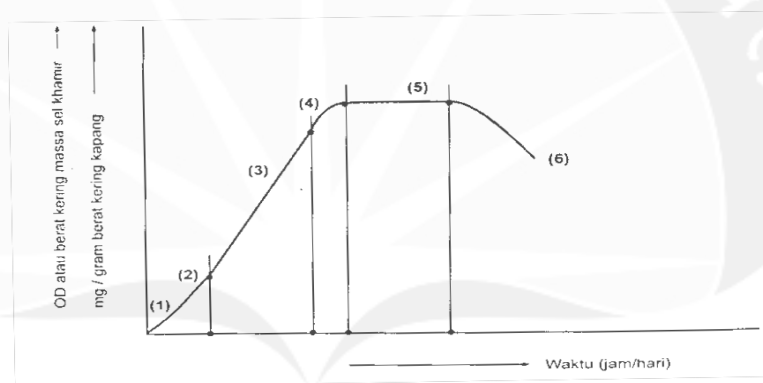
F. Pertumbuhan Jamur Benang

Daur hidup suatu jamur benang dimulai dari spora atau konidium yang tumbuh membentuk suatu struktur seperti tabung dan lama-kelamaan menjadi panjang, mirip seuntai benang (Gandjar dkk., 2006b). Pada suatu waktu, benang itu akan bercabang-cabang. Cabang-cabang tersebut akan tumbuh menjauhi hifa utama dan semakin luas. Cabang-cabang itu akan saling bersentuhan. Pada titik sentuh akan terjadi lisis dinding sel (anastomosis) sehingga protoplasma akan mengalir ke semua sel hifa (Gandjar dkk., 2006b).

Jamur benang juga memiliki kurva pertumbuhan seperti semua mikroorganisme. Kurva tersebut diperoleh dari menghitung massa sel pada jamur benang dalam waktu tertentu. Kurva pertumbuhannya memiliki beberapa fase, antara lain (Gandjar dkk., 2006b):

- a. Fase Lag, yaitu fase penyesuaian sel-sel dengan lingkungan, pembentukan enzim-enzim untuk mengurangi substrat.
- b. Fase akselerasi, yaitu fase mulainya sel-sel membelah dan menjadi aktif.
- c. Fase eksponensial, merupakan fase perbanyakan jumlah sel yang sangat banyak, aktivitas sel sangat meningkat, dan fase ini merupakan fase yang penting dalam kehidupan fungi. Pada awal dari fase ini, enzim-enzim dapat dipanen pada fase akhir ini.

- d. Fase deselerasi (Moore-Landecker, 1996), yaitu waktu sel-sel mulai kurang aktif membelah. Pada fase ini dapat dipanen biomassa sel atau senyawa-senyawa yang tidak lagi diperlukan oleh sel-sel.
- e. Fase stasioner, yaitu fase jumlah sel yang bertambah dan jumlah sel yang mati relatif seimbang. Kurva pada fase ini merupakan garis lurus yang horizontal. Senyawa metabolit sekunder padat dipanen pada fase ini.
- f. Fase kematian dipercepat, jumlah sel-sel yang mati atau tidak aktif samasekali lebih banyak daripada sel-sel yang masih hidup.



Gambar 6. Fase Hidup Jamur benang

Sumber: (Gandjar dkk, 2006a)

Keterangan: (1) Fase lag, (2) Fase akselerasi, (3) Fase eksponensial, (4) Fase deselerasi, (5) Fase stasioner, (6) Fase kematian.

Menurut Jutono dkk. (1980), pertumbuhan mikrobia di suatu suspensi atau bahan dapat diukur dengan beberapa cara, yaitu perhitungan massa sel secara langsung maupun tidak langsung. Perhitungan jumlah mikrobia secara langsung dipakai untuk menentukan jumlah mikrobia secara keseluruhan baik yang mati maupun yang hidup. Cara yang bisa ditempuh antara lain menggunakan *counting chamber*, pengecatan, dan pengamatan mikroskopik menggunakan filter membran.

Perhitungan mikrobia secara tidak langsung dipakai untuk menentukan jumlah mikrobia keseluruhan baik yang hidup maupun yang mati atau hanya untuk menentukan jumlah mikrobia yang hidup saja, tergantung pada cara yang digunakan. Metode yang dapat digunakan antara lain menggunakan sentrifuge, turbidimetrik berdasarkan analisis kimia, berat kering, cara pengenceran, *Most Probable Number* (MPN), dan berdasarkan jumlah koloni (*plate count*) (Jutono dkk., 1980). Pengukuran biomassa dari jamur benang akan digunakan perhitungan secara tidak langsung menggunakan metode berat kering. Miselium dari jamur benang akan difiltrasi, dicuci dan dikeringkan. Berat basah dan kering akan ditimbang dan dihitung selisihnya menjadi besar berat biomassa jamur benang.

G. Sumber Karbon dan Nitrogen Jamur Benang

Gula atau dalam bentuk kompleksnya disebut karbohidrat, merupakan substrat utama untuk metabolisme karbon (C) bagi jamur benang (Gandjar dkk., 2006b). Peranan penting dalam metabolisme karbohidrat antara lain:

1. Karbohidrat, melalui proses oksidasi, diubah menjadi energi kimia dalam bentuk ATP dan nukleotida phosphopyridine tereduksi.
2. Karbohidrat menyediakan sebagian besar karbon yang diperlukna untuk asimilasi konstituen sel fungi yang men gandung karbohidrat, lipid, protein, dan asam nukleat (Bilgrami dan Verma, 1994; Gadd, 1998)

Sebagai sumber karbon (C) dapat digunakan limbah pemerasan pabrik gula yaitu molase. Molase merupakan hasil samping pada industri pengolahan gula dengan wujud bentuk cair. Hal tersebut sesuai dengan pendapat Pond (1995) yang menyatidakan bahwa molase adalah limbah utama industri pemurnian gula. Kadar

air dalam cairan molase yaitu 15 – 25 % dan cairan tersebut berwarna hitam serta berupa sirup manis. Molase merupakan sumber energi yang esensial dengan kandungan gula didalamnya (Pond, 1995). Oleh karena itu, molase telah banyak dimanfaatkan sebagai bahan tambahan pakan ternak dengan kandungan nutrisi atau zat gizi yang cukup baik. Molase memiliki kandungan protein kasar 3,1 %, serat kasar 0,6 %, gula total 83,5 %, lemak kasar 0,9 %, dan abu 11,9 %. Molase dapat dibedakan menjadi dua, yaitu (Cheeke, 1999): (1) *Cane-molase*, merupakan molase yang memiliki kandungan 25 – 40 % sukrosa dan 12 – 25 % gula pereduksi dengan total kadar gula 50 – 60 % atau lebih. Kadar protein kasar sekitar 3 % dan kadar abu sekitar 8 – 10 %, yang sebagian besar terbentuk dari K, Ca, Cl, dan garam sulfat; (2) *Beet-molase* merupakan pakan pencahar yang normalnya diberikan pada ternak (Cheeke, 1999; McDonald, 2001). Molase dalam penelitian ini diperoleh dari PG-PS Madukismo, Yogyakarta. Secara fisik, molase sisa produksi gula PG-PS Madukismo ini berwarna hitam kecoklatan, bertekstur sangat kental, dan beraroma karamel. Profil lengkap dari komposisi molase PG-PS Madukismo dapat dilihat dalam Tabel 2.

Tabel 2. Spesifikasi Tetes Tebu (*Molasses*) PG-PS Madukismo Yogyakarta

No.	Parameter	Unit	Angka
1	Brix		84-86
2	Berat Jenis	Kg/Liter	1,43-1,45
3	Glukosa	%	22-24
4	Sakarosa	%	33-35
5	Total Sugar As Invert (TSAI)	%	55-59

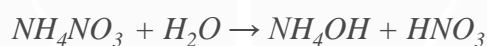
Sumber: PG-PS Madukismo (Lampiran 9)

Molase sampai saat ini masih banyak digunakan di berbagai industri, mulai dari produksi alkohol hingga produksi pakan ternak (silase). Sebagai bahan baku,

molase relatif murah dan kaya nutrisi. Sukrosa memang komposisi utama dari molase, tetapi disamping itu masih banyak komponen lain, seperti asam amino, sterol, vitamin dan senyawa-senyawa anorganik yang terkandung di dalamnya (dapat dilihat dalam Lampiran 9).

Amonia tersedia dalam bentuk garam amonia, sebagai contoh amonium nitrat. Amonium nitrat merupakan sumber nitrogen anorganik yang mudah digunakan oleh mikroorganisme, begitu pula dengan jamur benang (Slaughter, 1988). Semua mikroorganisme, salah satunya jamur benang, yang telah diteliti dapat menggunakan amonia sebagai sumber nitrogen anorganik (Slaughter, 1988). Sumber N dalam bentuk nitrat juga dapat digunakan oleh sebagian besar jamur benang (Slaughter, 1988). Oleh karena itu, penggunaan amonium nitrat sebagai sumber nitrogen menyediakan amonium maupun nitrat yang keduanya dapat digunakan oleh jamur benang. Proses asimilasi nitrat pada jamur benang melalui sistem transport ke dalam sel lalu diubah menjadi amonium oleh enzim nitrat dan nitrit reduktase (Siverio, 2002). Sementara nitrit bersifat toksik bagi sebagian besar jamur benang, tapi ada juga yang dapat menggunakannya sebagai sumber nitrogen selama konsentrasi yang digunakan cukup rendah (Slaughter, 1988). Sumber nitrogen organik seperti glutamine, asparagin dan arginin dapat menumbuhkan jamur benang dengan baik, diikuti asam glutamat, asam aspartat, dan alanin. Asam amino leusin, valin, dan metionin merupakan sumber nitrogen yang kurang baik, sementara sistein bersifat toksik bagi jamur benang. Urea juga dapat digunakan oleh sebagian besar jamur benang karena memiliki enzim urase

yang dapat menghidrolisis urea menjadi amonium dan karbon dioksida (Slaughter, 1988). Sumber nitrogen harus melewati tahap transport aktif ke dalam hifa jamur benang agar dapat digunakan dalam metabolisme untuk pertumbuhan maupun pembentukan metabolit primer dan sekunder (Gandjar dkk., 2006b). Nitrat pun akan diubah menjadi bentuk amonium yang aman untuk dipakai oleh jamur benang (Gandjar dkk., 2006b). Amonium nitrat (NH_4NO_3) dalam medium akan terionisasi menjadi:



Penggunaan amonium oleh jamur benang ini diuji dengan menggunakan metode Nessler. Metode ini menggunakan reagen Nessler yang akan bereaksi dengan amonium menjadi reaksi sebagai berikut (Jeffery dkk., 1989):



Hasil reaksi ini akan membuat larutan berwarna kuning hingga jingga, tergantung dari banyaknya kadar amonium dalam larutan. Semakin banyak amonium, semakin pekat warna kuning yang dihasilkan (Jeffery dkk., 1989).

H. Hipotesis

1. Ada hubungan positif antara konsentrasi molase dan amonium nitrat dengan meningkatnya biomassa dan produksi minyak jamur benang karena semakin banyak sumber karbon yang diberikan, semakin banyak bahan dasar pembentuk biomassa dan banyak pula kelebihan karbon yang dapat disimpan dalam bentuk lemak.

2. Perbandingan konsentrasi molase dan amonium nitrat yang menghasilkan biomassa serta minyak terbanyak adalah 50:1.
3. Komposisi lemak hasil ekstraksi dari semua jamur benang didominasi oleh asam lemak tak-jenuh karena produksi enzim jamur benang mengubah lemak menjadi bentuk asam lemak.

